# Секция 1.
# ИНВЕСТИЦИИ И ИННОВАЦИИ

**Андренко Елена Анатольевна**
*канд. экон. наук, доцент кафедры*
*финансово-экономической безопасности, учета и аудита*
*Харьковский национальный университет*
*городского хозяйства им. А.М. Бекетова*
*г. Харьков, Украина*
**Мордовцев Александр Сергеевич**
*канд. экон. наук, ст. преп. кафедры*
*менеджмента внешнеэкономической деятельности и финансов*
*Национальный технический университет*
*«Харьковский политехнический институт»*
*г. Харьков, Украина*
**Мордовцев Сергей Михайлович**
*канд. техн. наук., доцент кафедры высшей математики*
*Харьковский национальный университет*
*городского хозяйства им. А.М. Бекетова*
*г. Харьков, Украина*

## ОЦЕНКА РИСКОВ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПРОЕКТА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Одной из причин неэффективного практического использования научно-методических подходов к оценке инвестиционных рисков, основанных на качественных, количественных и гибридных методах, является неполнота информации на различных стадиях инвестиционного процесса, что затрудняет выбор адекватной модели оценки и прогнозирования инвестиционных рисков в условиях неопределенности. В такой ситуации приобретает актуальность разработка экономико-математических моделей, основанных на вероятностных подходах и теории нечетких множеств.

Целью исследования является совершенствование подхода к оценке инвестиционных рисков предприятия на основе теории нечетких множеств [1–4]. Использование методов, основанных на этой теории, предусматривает формализацию исходных параметров и целевых показателей в виде нечеткого интервала. Попадание в каждый интервал характеризуется некоторой степенью неопределенности. Разработчики инвестиционных проектов, используя исходную информацию, опыт и интуицию способны количественно охарактеризовать интервалы возможных и пороговых значений параметров.

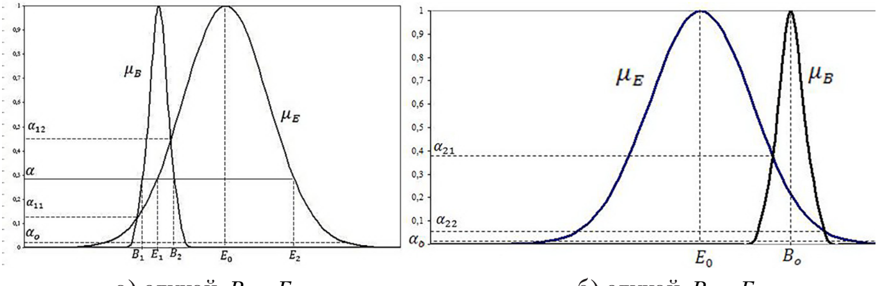
Для оценки уровня риска введем в рассмотрение два нечетких множества: *E* — предполагаемое значение исследуемого показателя; *B* — показатель, характеризующий граничные условия показателя. В качестве *E* и *B* можно, например, выбрать: *NPV* — чистую приведённую стоимость; *PI* — индекс рентабельности инвестиций; *RII* — внутреннюю нормы доходности и другие параметры, характеризующие риски на всех стадиях инвестиционного процесса. При выполнении неравенства *E*>*B* инновационный проект можно считать успешным.

Для оценки рисков предлагается использовать гауссову функцию принадлежности, которая в отличие от многоугольных функций является непрерывной и дифференцируемой на заданном интервале. Предположим, что для минимального среза выполняется условие $\mu_E(E_0-\lambda)=\mu_E(E_0+\lambda)=\alpha_o$, где λ — параметр, задающий узловые точки функции принадлежности, ограничивающие ее носитель. Тогда функции принадлежности для *E* и *B* записываются в виде

$$\mu_E = e^{\frac{(E-E_o)^2}{\lambda_E^2}\ln\alpha_o}; \qquad \mu_B = e^{\frac{(B-B_o)^2}{\lambda_B^2}\ln\alpha_o}. \tag{1}$$

Положим $B_o < E_0$. (рис. 1а). Для произвольного уровня $\alpha_o \le \alpha \le 1$ имеем

$$E_1 = E_o - \lambda\sqrt{\frac{\ln\alpha}{\ln\alpha_o}};E_2 = E_o + \lambda\sqrt{\frac{\ln\alpha}{\ln\alpha_o}};B_1 = B_o - \lambda\sqrt{\frac{\ln\alpha}{\ln\alpha_o}};B_2 = B_o + \lambda\sqrt{\frac{\ln\alpha}{\ln\alpha_o}} \tag{2}$$




а) случай $B_o < E_0$ б) случай $B_o > E_0$

Рис. 1. Функции принадлежности $\mu_E$; $\mu_B$

Функции $\mu_E$, $\mu_B$ пересекаются в двух точках $\alpha_{11}$ и $\alpha_{12}$, причем

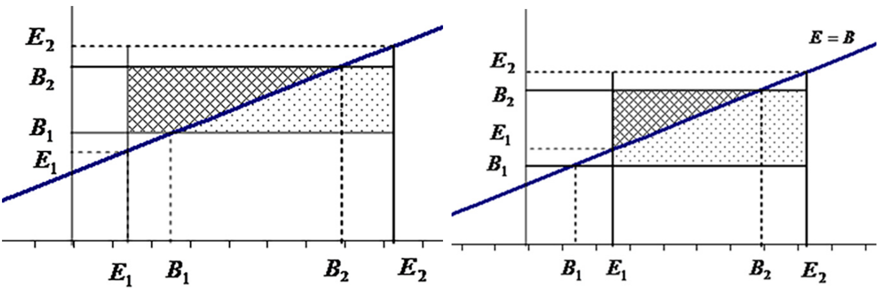
$$\alpha_{11} = \exp\left(\frac{(E_o-B_o)^2}{(\lambda_B-\lambda_E)^2}\ln\alpha_o\right); \quad \alpha_{12} = \exp\left(\frac{(E_o-B_o)^2}{(\lambda_E+\lambda_B)^2}\ln\alpha_o\right) \tag{3}$$

где $E_o$, $B_o$ — модальные значения функций, соответствующие $\sup(\mu)=1$.

Зоны риска показаны на фазовой плоскости (E, B) как заштрихованная трапеция для $\alpha_o \le \alpha \le \alpha_{11}$ (рис. 2а) и заштрихованный треугольник для $\alpha_{11} \le \alpha \le \alpha_{12}$ (рис. 2б). Заштрихованный прямоугольник определяет область ожидаемых реализаций значений параметра. Геометрическая вероятность события попадания точки (E, B) в зону риска определяется по формуле

$$P(\alpha)=\frac{S_r}{S}, \tag{4}$$

где $S_r$ — площадь заштрихованной трапеции (треугольника), S — площадь заштрихованного прямоугольника.




а) $\alpha_o \le \alpha \le \alpha_{11}$ б) $\alpha_{11} \le \alpha \le \alpha_{12}$

Рис. 2. Фазовая плоскость для уровня $\alpha$

Суммарный риск вычисляется по формуле

$$R = R_1 + R_2 = \int_{\alpha_0}^{\alpha_{11}} P(\alpha)d\alpha + \int_{\alpha_{11}}^{\alpha_{12}} P(\alpha)d\alpha\ . \tag{5}$$

В результате получим

$$R_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{E_o - B_o}{\lambda_E} D\cdot \Delta ERF_1 + \alpha_{11} - \alpha_o\right); \tag{6}$$

$$R_2 = \frac{B_o - E_o}{8\lambda_E\lambda_B}\left[(B_o - E_o)\ln(\alpha_o)\Delta Li + \lambda_{BE}^2 \cdot (\alpha_{12} - \alpha_{11}) - 2\lambda_{EB}\cdot D\cdot \Delta ERF_2\right], \tag{7}$$

где $erf(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^z e^{-u^2}du = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\sum_{k=0}^{\infty}\frac{(-1)^k z^{2k+1}}{(2k+1)\cdot k!}$ — функция ошибок;

$\Delta ERF_1 = erf\left(\sqrt{|\ln\alpha_{11}|}\right) - erf\left(\sqrt{|\ln\alpha_o|}\right)$; $\Delta ERF_2 = erf\left(\sqrt{|\ln\alpha_{12}|}\right) - erf\left(\sqrt{|\ln\alpha_{11}|}\right)$;

$li(z) = \int_0^z \frac{d\alpha}{\ln\alpha} = \gamma + \ln|\ln(z)| + \sum_{k=1}^{\infty}\frac{\ln^k z}{k\cdot k!}$ — интегральный логарифм;

$$\Delta Li = li(\alpha_{12}) - li(\alpha_{11});\ D = \sqrt{\pi\left|\ln\alpha_o\right|}\ ;\ \lambda_{EB} = (\lambda_E + \lambda_B)\,.$$

Рассмотрим случай, когда $E_o < B_0$ (рис. 1б). Из условия симметрии следует, что $\alpha_{22} = \alpha_{11}$; $\alpha_{21} = \alpha_{12}$.

Суммарный риск вычисляется по формуле

$$R^* = R_1^* + R_1^* + R_1^* = \int_{\alpha_0}^{\alpha_{22}} P(\alpha)d\alpha + \int_{\alpha_{22}}^{\alpha_{21}} P(\alpha)d\alpha + \int_{\alpha_{21}}^{1} d\alpha\,. \tag{8}$$

При выборе произвольного уровня принадлежности $\alpha_o \le \alpha \le \alpha_{22}$ можно доказать, что риск $R_1^* = R_1$.

При выборе произвольного уровня принадлежности $\alpha_{22} \le \alpha \le \alpha_{21}$ зоной риска для выбранного уровня α является интервал [$B_1$, $E_2$]. На фазовой плоскости (E, B) это заштрихованная трапеция (рис. 3).

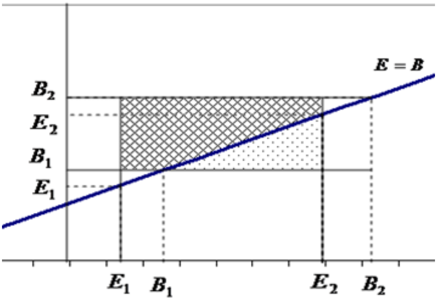



Рис. 3. Фазовая плоскость для уровня $\alpha_{22} \le \alpha \le \alpha_{21}$

В этом случае суммарный риск вычисляется по формуле

$$R_2^* = \left[1 - \frac{\lambda_{BE}^2}{8\lambda_E\lambda_B}\right](\alpha_{21} - \alpha_{22}) - \frac{B_o - E_o}{4\lambda_E\lambda_B}\left[(B_o - E_o)\ln(\alpha_o)\cdot\ \Delta Li_1 + \lambda_{EB} D\cdot\Delta ERF_3\right], \tag{9}$$

где $\Delta ERF_3 = erf\left(\sqrt{\left|\ln\alpha_{21}\right|}\right) - erf\left(\sqrt{\left|\ln\alpha_{22}\right|}\right)$; $\Delta Li_1 = li(\alpha_{21}) - li(\alpha_{22})$

При $\alpha_{21} < \alpha \le 1$ риск равен $R_3^* = 1 - \alpha_{21}$. (10)

Приняты следующие критерии: если R<10%, то он признается приемлемым для всех случаев инновационного проектирования; если 10%<R<20%, то он признается условно приемлемым, необходимы дополнительные мероприятия по страхованию риска; если R>20%, то проект признается неприемлемым.

Приведем пример расчета риска инвестирования инновационного проекта, с использованием индекса рентабельности инвестиций, который, в нашем случае, является нечеткое множество *E = PI*.

$$\left(PI_{min};PI_0;PI_{max}\right)=\left(\frac{1}{I_{max}}\sum_{k=1}^{T}\frac{CF_k^{min}}{\left(1+r_k^{max}\right)^k};\frac{1}{I_0}\sum_{k=1}^{T}\frac{CF_k^{0}}{\left(1+r_k^{0}\right)^k};\frac{1}{I_{min}}\sum_{k=1}^{T}\frac{CF_k^{max}}{\left(1+r_k^{min}\right)^k}\right) \quad (11)$$

где $T$ — срок внедрения и реализации инновационного проекта; $I$ ($I_{\min}$, $I_0$, $I_{\max}$) — размер стартовых инвестиций; $CF_k$ ( $CF_k^{min};CF_k^0;CF_k^{max}$ ) — планируемый чистый денежный поток по $k$-период; $r\left(r_k^{min};r_k^0;r_k^{max}\right)$ — ставка дисконтирования. В таблице 1 представлены параметры проекта. Остаточная (ликвидационная) стоимость проекта равна нулю. Инвестиционный проект признается эффективным, если индекс рентабельности инвестиций $PI$ превышает предельный уровень $B$.

*Таблица 1*

**Ожидаемые параметры инвестиционного проекта**

| Показатель | сценарий 1 | сценарий 2 | сценарий 3 |
|---|---|---|---|
| размер стартовых инвестиций $I$, тыс.грн | 200 | 200 | 200 |
| планируемый чистый денежный поток $CF_k$ | | | |
| первый год $CF_1$, тыс.грн | 0 | 0 | 0 |
| второй год $CF_2$, тыс.грн | 80 | 180 | 230 |
| третий год $CF_3$, тыс.грн | 160 | 260 | 370 |
| ставка дисконтирования $r$, % | 0,15 | 0,2 | 0,25 |

Используя (11) определим $E_o=PI_o=1{,}4$; $\lambda_E=0{,}7$. Примем $B_o=1{,}1$; $\lambda_B=0{,}2$, а также зададим минимальный уровень среза $\alpha_o=0{,}02$. В результате расчетов по формулам (3, 5–7) ожидаемый итоговый инвестиционный риск составил $R=6{,}9\%$, т.е инвестиционные проект можно принять. При $B_o=1{,}5>E_o$, по формулам (3, 5, 9–10) получим $R^*=66\%$, т.е. проект отклоняется. Отметим, что в случае применения треугольных функций принадлежности [4] итоговые инвестиционные риски составили: $R=10{,}7\%$; $R^*=60\%$, соответственно.

Использование полученных зависимостей риска от параметров, характеризующих инвестиционный проект, позволяет потенциальным инвесторам и разработчикам прогнозировать возможные сценарии инвестиционного процесса и принимать обоснованные управленческие решения о целесообразности внедрения и реализации проекта. Недостатком рассмотренной гауссовой функции принадлежности является ее симметричность, что не всегда удобно при разработке реальных инвестиционных проектов. Поэтому имеет смысл провести аналогичные исследования, используя асимметричные функции принадлежности.

### Литература

1. Недосекин А.О. Стратегический анализ инновационных рисков: монография / З.И. Абдулаева, А.О. Недосекин. — СПб: Изд-во Политехн. университета, 2013. — 150 с.

2. Гнуни Т.С. Методика оценки риска инвестиционного проекта с использованием неопределенно-множественной модели с Гауссовой функцией принадлежности / Т.С. Гнуни // Математические методы анализа в экономике. — 2012. — № 9 (99). — С. 27–33.

3. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. — 2-е изд. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 798 с.

4. Мордовцев О.С. Прогнозування інноваційних ризиків з використанням нечітких множин / І.А. Федоренко, А.С. Мордовцев, В.О. Мясников // Проблеми економіки. — 2017. — № 1. — С. 420–429.